

El análisis de imagen como herramienta de investigación no invasiva de cuevas con arte rupestre

M. A. Rogerio-Candelera

Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
Avda. Reina Mercedes, 10. 41012 Sevilla.

RESUMEN

Una gran parte del arte rupestre ibérico, sobre todo del datado en el Pleistoceno, se localiza en cuevas. La especial fragilidad de los ambientes subterráneos determina que los métodos empleados para la documentación y estudio de los mecanismos de alteración de estos Bienes de Interés Cultural deban ser de naturaleza no invasiva. En las cuevas en particular, los métodos empleados para la documentación no sólo deben evitar el contacto con los paneles; además deben permitir eludir, en la medida de lo posible, las estancias prolongadas como modo de minimizar la afección que pueda representar la presencia de los investigadores en la cavidad a su frágil equilibrio microclimático. La aplicación de técnicas de análisis de imagen procedentes del campo de la teledetección espacial y de las ciencias biomédicas permite cumplir este doble objetivo, asegurando una documentación fidedigna, rápida y no invasiva tanto del Patrimonio Cultural que enriquece muchas cavidades españolas como de los elementos bióticos o abióticos que intervienen en el sistema natural en el que se encuadran estas manifestaciones parietales. En este trabajo se detalla la aplicación de estas técnicas en una cueva española (Altamira) para la detección, cuantificación y registro de cubiertas bióticas y abióticas que forman parte de este sistema natural, ofreciéndose ejemplos de los datos obtenidos, relevantes tanto desde el punto de vista de la investigación arqueológica como desde el punto de vista de la conservación.

Palabras clave: análisis de imagen, arte rupestre, cuevas, documentación, teledetección

Image analysis as a non-invasive research tool for rock art caves

ABSTRACT

A great percentage of Iberian rock art, mostly dated in the Pleistocene, is located in caves. The special fragility of subterranean environments determines the non-invasive nature of the methods employed for recording and studying the damaging mechanisms of these cultural assets. Particularly in caves the recording methods employed should avoid not only the contact with the panels, but also prolonged stays as a way for minimizing the possible impact of the presence of researchers on the fragile microclimatic equilibrium of the cavity. The application of image analysis techniques developed in remote sensing and biomedical research areas allows reaching this double goal, ensuring a faithful, fast, and non-invasive documentation both of the Cultural Heritage that enriches many Spanish caves and the biotic and abiotic elements which compose the natural system in which parietal art is included. In this paper, the implementation of these techniques in a Spanish cave (Altamira) for detection, quantification and recording of biotic and abiotic coverages integrated in this natural system is presented as well as some examples of the obtained data, relevant both for archaeological research and for conservation.

Key words: caves, image analysis, recording, remote sensing, rock art

Introducción

Cada una de las localizaciones en las que existe arte rupestre constituye un sistema natural complejo, en el que, además de las interacciones entre la roca, el agua y el aire, intervienen en su estabilidad otros factores como la adhesión de los pigmentos utilizados, la propia composición de los mismos, en su caso la técnica de realización de los grabados, la existencia de comunidades vivas sobre o en la roca soporte y las características de las poblaciones que las componen, además de la incidencia de las acciones antrópicas, no siempre efectuadas de manera consciente y por ello no siempre consideradas en su verdadera medida (Fig. 1). Entendemos como sistema natural al conjunto de partes interdependientes y relacionadas entre sí, que posee una estructura que viene dada por el conjunto de relaciones no fortuitas que unen cada una de las partes y el todo.

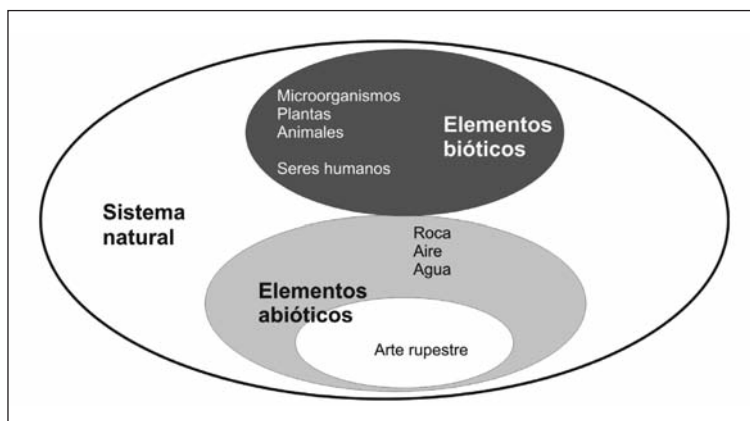


Figura 1. Las representaciones parietales pueden describirse como uno más de los elementos abióticos del sistema natural en el que se insertan

Desde el punto de vista del funcionamiento de los propios sistemas, hemos de distinguir entre aquellos que presentan una elevada tasa de intercambio de materia y energía con su entorno y aquellos en el que este intercambio es moderado o bajo. En lo que afecta al arte rupestre, los primeros corresponden con los abrigos y emplazamientos al aire libre, y los segundos al arte rupestre en cuevas. Las características geológicas y ambientales y en definitiva las físico-químicas y energéticas de cada uno de estos enclaves son muy diferentes. Los escenarios sometidos a la intemperie bajo condiciones naturales son medios de elevada oscilación energética con una alta disponibilidad de luz y nutrientes para macro y microorganismos, por oposición a los situados en cavidades naturales. La alta energía de los medios al aire libre tiene como consecuencia que, una vez han resistido el paso de miles de años, muestren una menor fragilidad para su conservación respecto a las cuevas, mucho más susceptibles al deterioro inducido por perturbaciones energéticas de carácter antrópico. Así, la mera presencia de un

grupo de visitantes durante unos minutos frente a un panel de pinturas rupestres situado en una cueva, puede provocar variaciones de temperatura y humedad superiores a las que soporta la cueva bajo condiciones naturales durante todo un ciclo anual (Sánchez-Moral *et al.*, 1999, 2000). Esas modificaciones unidas a los aportes de materia orgánica que se transportan desde el exterior pueden generar una alteración progresiva del microambiente que resulte en un deterioro irreversible a medio-largo plazo.

Las diferencias entre uno y otro tipo de localización son grandes, y, desde el punto de vista de la actividad biológica, vienen marcadas fundamentalmente por dos factores: la disponibilidad de luz y la disponibilidad de nutrientes. Las localizaciones al aire libre o en abrigos someros (ambientes epigeos o para-hipogeos) se caracterizan por una elevada iluminación y una importante disponibilidad de recursos. Por el contrario, los ambientes hipogeos se caracterizan por ser medios oligotróficos (con muy poca o ninguna materia orgánica disponible) y por la ausencia de luz. La estabilidad ambiental es una característica propia de estos ambientes hipogeos (Fig. 2). Estas características condicionarán la biocenosis presente en los distintos biotopos en los que existe arte rupestre, y por tanto su posibilidad de biodeterioro.

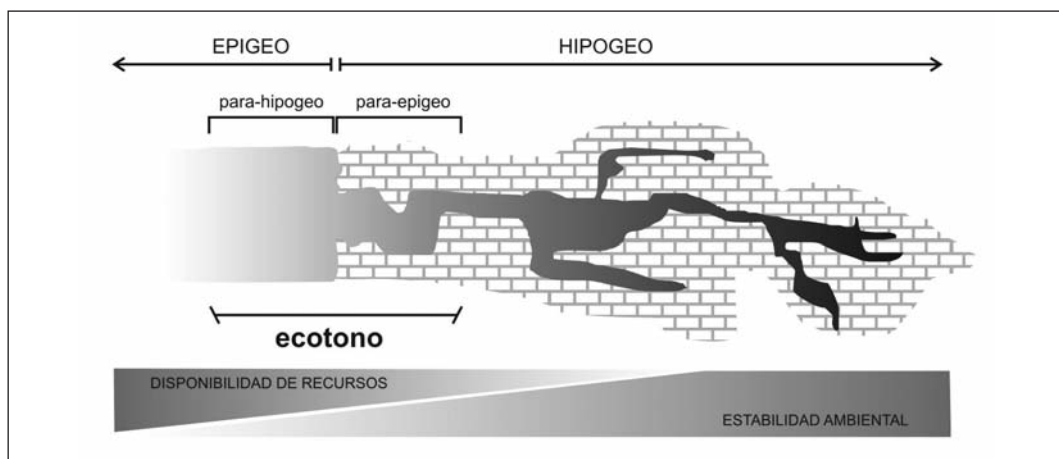


Figura 2. Modelo gráfico de representación de las diferentes regiones del sistema epigeo-hipogeo. Localización de diferentes tipos de comunidades de macro y microorganismos en relación a los niveles de estabilidad y abundancia de recursos en una cueva hipotética (Sánchez-Moral *et al.*, 2008)

Una gran parte del arte rupestre ibérico, sobre todo aquel elaborado durante el Paleolítico Superior, se localiza en cuevas. La especial fragilidad de los ambientes subterráneos determina que los métodos empleados para la documentación del arte rupestre y el estudio de los mecanismos de alteración de estos Bienes de Interés Cultural deban ser de naturaleza no invasiva.

El concepto de documentación integral que manejamos pasa por la detección y caracteriza-

ción de los elementos componentes del sistema natural en el que se enmarcan las representaciones parietales, definiendo los procesos actuantes en función de los elementos del sistema y sus sinergias y reflejando adecuadamente su dimensión espacial, que resulta de especial importancia para comprender el comportamiento del mismo.

Los métodos empleados para documentar el sistema deben ser consecuentes con la fragilidad del mismo, no debiéndose emplear medios que contribuyan a su deterioro o puedan alterar las condiciones que contribuyen a su conservación que, en la mayoría de los casos, resultarán difíciles de determinar. En este sentido, entendemos que debe evitarse todo contacto con el bien a documentar, incluyendo la toma de micromuestras. Como ya se ha reseñado, en los ambientes más frágiles incluso la mera presencia de los investigadores puede deparar consecuencias indeseadas (Huppert *et al.*, 1993, Moure 1993), como se ha contrastado en cavidades kársticas como Altamira (Sánchez-Moral *et al.*, 2002a) o Candamo (Hoyos *et al.*, 1998). Las restricciones prefijadas sólo pueden salvarse, a día de hoy, mediante métodos de documentación basados en el análisis de imagen.

Técnicas de documentación basadas en análisis digital de imágenes

Además de evitarse todo contacto con los bienes a documentar, debe procurarse que los procesos de documentación eviten estancias prolongadas del equipo investigador, específicamente en sistemas de especial fragilidad como son los subterráneos. Asimismo, deben ser lo suficientemente resolutivos como para poder reflejar la dimensión espacial de los elementos a documentar, puesto que no todos los procesos actúan al mismo tiempo ni en los mismos espacios. Del mismo modo, la información obtenida debe ser fácilmente explotable mediante herramientas de gestión de la información que permitan una modelización adecuada de los procesos.

Los métodos más apropiados para cumplir con estos requisitos caen necesariamente dentro del ámbito de la teledetección y, específicamente, en el análisis de imagen, ya que estos métodos unen la rapidez en la captación de datos a la existencia de una distancia entre el sensor y los bienes a documentar. Si bien una afección nula es imposible, los métodos que describiremos en las páginas que siguen permiten obtener un caudal de datos analíticos suficiente para cumplir con las condiciones prefijadas asegurando la documentación de los bienes y los elementos del sistema más relevantes para su comprensión.

Como análisis digital de imágenes entendemos el conjunto de operaciones matemáticas que efectuamos con las imágenes matriciales obtenidas por cualquier tipo de sensor (Chuvieco Salinero, 2002), basándonos en que las imágenes digitales aportan datos no sólo de tipo cuantitativo (porcentaje de radiación medido o reflectividad) sino también de tipo espacial, expresados en las coordenadas cartesianas de cada píxel (x,y). Estas coordenadas serán, así, las mismas para un píxel determinado, variando tan sólo la coordenada z (reflectividad) en cada una de las bandas que constituyen la imagen.

El carácter matricial de este tipo de imágenes posibilita aplicar diferentes técnicas matemáti-

cas dirigidas a resaltar diferentes elementos. Así, pueden aplicarse filtros digitales para destacar o por el contrario homogeneizar elementos en la imagen; pueden establecerse clasificaciones digitales de las imágenes, tanto supervisadas como no supervisadas, para diferenciar los distintos elementos o cubiertas registrados y pueden aplicarse técnicas de análisis multivariante para descorrelacionar los niveles digitales de los píxeles, como el análisis de Componentes Principales, para mejorar la visualización de los distintos elementos.

Combinando estas técnicas con las correcciones geométricas necesarias para convertir las imágenes obtenidas por medios convencionales (en general, fotografía digital en color) en ortofotografías mediante fotorrestitución digital es posible obtener valores cuantitativos referidos a superficies, lo que es de gran utilidad cuando se trata de monitorizar fenómenos que tienen una marcada componente temporal.

El trabajo con este tipo de técnicas e imágenes permite obtener resultados tales como calcos ajustados de las manifestaciones rupestres y/o de cubiertas bióticas y abióticas implicadas en su conservación, de naturaleza vectorial, fácilmente integrables y gestionables en entornos SIG (Rogerio-Candelera y Élez Villar, 2010); monitorizar el desarrollo de procesos con componente temporal tales como el desarrollo de colonizaciones microbianas o la conservación de capas pictóricas; mejorar la visualización de imágenes con un alto grado de correlación entre los niveles digitales de los píxeles de las diferentes bandas, con lo que se permite apreciar elementos difícilmente visibles o no visibles en absoluto a simple vista (Portillo *et al.*, 2008); y detectar diferencias en la composición química de las figuras en los paneles, posibilitando la diferenciación de fases (Rogerio-Candelera *et al.*, 2009) o repintes de motivos.

Dos ejemplos de utilización de estas técnicas en la Cueva de Altamira

A modo de ejemplo, presentamos aquí dos aplicaciones de análisis digital de imágenes llevadas a cabo en la Cueva de Altamira (Santillana del Mar, Cantabria), marcadas por objetivos diferentes. Una de ellas se dirige a la mejora de la visualización de un panel rupestre de la Galería VI (sala de La Hoya) y su posterior calco vectorial e integración del mismo en el Modelo Digital de Elevaciones disponible para la cavidad. La otra aplicación que describimos consiste en la monitorización llevada a cabo de una serie de colonizaciones microbianas a lo largo de un período de dos años.

Calcos digitales del panel de la sala de La Hoya

La sala de La Hoya, en la Cueva de Altamira, se sitúa en la cota topográfica más baja de toda la cavidad (Fig. 3), y presenta su decoración pictórica en un estrato compuesto fundamentalmente por calizas, delimitado por arriba y por abajo por paquetes estratigráficos compuestos por bandas de calizas y calcarenitas (Foyo *et al.*, 2002).

Las pinturas de la sala de La Hoya se cuentan entre los más antiguos testimonios magadalenienses de la cueva, anteriores al conjunto de la sala de Polícromos. Elaboradas con carbón,

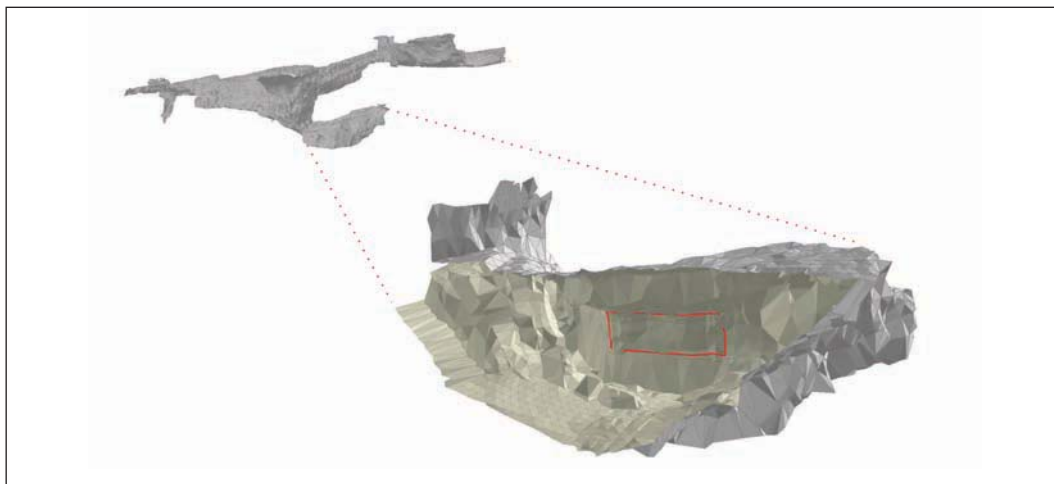


Figura 3. Modelo 3D de la Cueva de Altamira, y detalle de la sala de La Hoya, con la localización de las pinturas

para su datación se cuenta con una fecha ^{14}C AMS: 15.050 ± 180 BP (Gif-A 96062), que abona esta cronología (Moure *et al.*, 1996). El último calco conocido de las figuras del panel que nos ocupa (y en realidad el único) corresponde al publicado por H. Breuil y H. Obermaier en su libro de 1935. En él se sitúan, con una disposición marcadamente horizontal, los calcos de las cuatro figuras que lo componen: una cabra mirando a la izquierda, una cierva mirando a la derecha en su zona central, y otras dos figuras caprinas mirando a la derecha en el extremo derecho del panel. A pesar de haber sido documentadas fotográficamente en varias ocasiones, no se había realizado hasta la fecha un nuevo calco que corrigiera y/o completara la visión que se tiene de estas figuras. En buena medida, la inexistencia de un calco fiable de la figura más a la izquierda del panel puede deberse a las dificultades para la completa definición de sus trazos provocada por la proliferación de concreciones de aragonito que se desarrollan a favor de los mismos, circunstancia que es un argumento a favor de su origen biogénico (Sánchez-Moral *et al.*, 2002b).

La elaboración de los calcos siguió un protocolo de análisis de imagen que implicaba el uso de fotografías digitales con iluminación estándar y con ultravioleta ($\lambda=400$ nm), produciéndose imágenes tribanda de visible y de fluorescencia inducida por ultravioleta, que fueron descorrelacionadas mediante análisis de Componentes Principales y a partir de las bandas obtenidas se elaboraron imágenes en falso color (Fig. 4), que fueron la base para la clasificación supervisada y posterior vectorización automática que tuvo como resultado los calcos que se muestran en la figura 5.

La implementación del MDE se llevó a cabo mediante la creación de mallas de triángulos tipo TIN (*Triangulated Irregular Networks*) calculadas a partir del algoritmo de Delaunay. Para la construcción del modelo visual final, primero se extrajo el sector de topografía necesario que representa la pared en la que se encuentran las figuras a estudio, con lo que se elimina gran

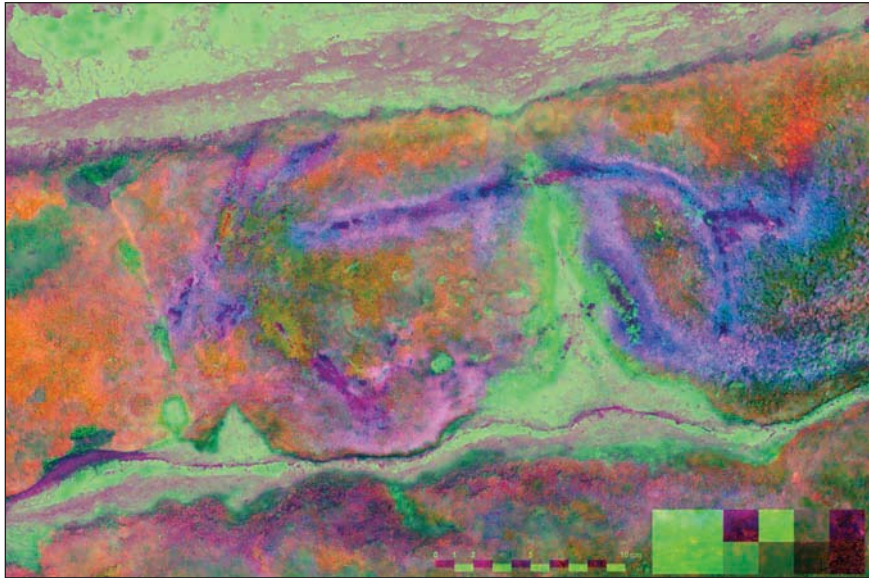


Figura 4. Imagen en falso color elaborada a partir de las CP minoritarias de visible y fluorescencia inducida por UV de la cabra de la zona izquierda del panel

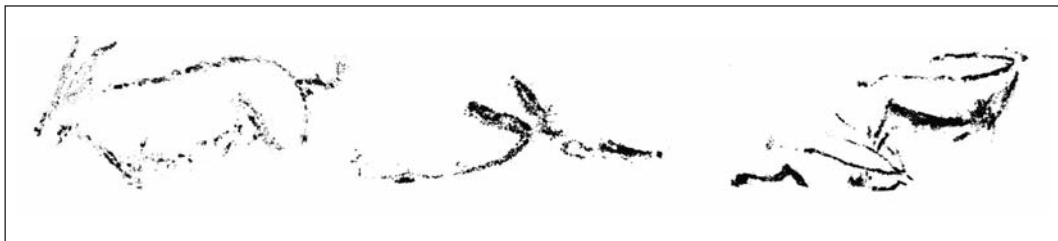


Figura 5. Calcos de las distintas figuras que componen el panel. Diferente escala

parte de la carga informática de datos y el archivo se aligera facilitando su gestión. Como segundo paso, el fragmento de la topografía se rotó en el espacio para situar el conjunto lo más paralelo posible al eje XY. Con esta acción se consiguió simplificar el proceso de integración de las imágenes vectoriales en el MDE. Sobre este fragmento ya editado se georreferenciaron en planta las imágenes vectoriales y por último se tapizó (*drape*) el TIN con estas imágenes. Mediante prueba y error se eligieron los parámetros de renderizado que mejor se adaptan a este caso para obtener una buena visualización 3D final (Fig. 6).

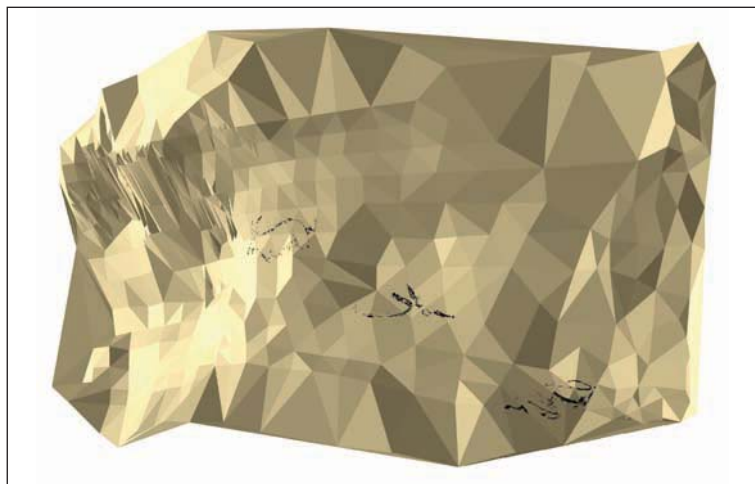


Figura 6. Vista de los calcos vectoriales del panel superpuestos al Modelo Digital de Elevaciones

Monitorización de cubiertas bióticas

En el transcurso de los diferentes proyectos de investigación llevados a cabo en la Cueva de Altamira en relación con la conservación de sus manifestaciones parietales se detectó el desarrollo de diferentes tipos de colonizaciones microbianas que proliferaban en varias zonas. Estas colonizaciones se caracterizaban *de visu* por la presencia de manchas macroscópicas de color blanco, gris y amarillo que correspondían con tipos diferentes de biopelículas con poblaciones microbianas diferenciadas. En cada uno de estos tipos de colonizaciones existe cierta variabilidad en cuanto a morfología, dimensiones y tonalidades de color.

Se ha observado que existe una relación directa entre el rango de oscilación térmica (e higrométrica) de las distintas zonas de la cueva, que dependen a su vez de la proximidad a la entrada, y el grado de colonización observado en techos y paredes (Sánchez-Moral *et al.*, 2009). Así, la densidad de la colonización microbiana decrece progresivamente hacia el interior de la cueva, siendo particularmente intensa en la zona de la entrada, en varias zonas sobre las paredes y el techo, donde la oscilación termohigrométrica es mucho mayor, y hacia el interior, en el Cruce y la Sala de los Muros. Para cada tipo de colonización se ha observado distinta distribución y condiciones microambientales diferentes (Cuezva *et al.*, 2009).

La posibilidad de realizar un estudio a medio plazo que brindaba el convenio recién finalizado con el Ministerio de Cultura hizo posible plantear la monitorización mediante análisis de imagen de la extensión de dichas colonizaciones bacterianas, toda vez que podía procederse a la toma de datos para la elaboración de varias series fotográficas temporales que permitieran la cuantificación en algunos puntos seleccionados de la evolución de estas manchas y determinar, así, si en las condiciones microclimáticas que han imperado en la cueva en el período que abarca los años 2007 a 2009 las colonizaciones se extienden o si, por el contra-

rio, se encuentran estabilizadas. Debe señalarse que, desde el cierre de la cueva en 2002, el acceso a la misma es muy restringido y por períodos de tiempo muy limitados y ceñidos estrictamente a las necesidades de investigación y mantenimiento.

La diferenciación *de visu* de las colonias amarillas del resto es bastante fácil, puesto que estas presentan un tono amarillento que vira a dorado y que contrasta de manera importante con los otros dos tipos de colonizaciones. Por su parte, la distinción a simple vista entre las colonias blancas y las grises es una tarea delicada y, en general, no exenta de subjetividad.

La metodología empleada en este estudio implicó la obtención de fotografías digitales estándares, la elaboración de series temporales mediante la aplicación de correcciones geométricas que aseguraran la superponibilidad de los fotogramas (adecuación de las imágenes de 2009 a las de 2007 mediante la asignación de 10 puntos de control, coincidentes con puntos singulares fácilmente identificables en los fotogramas y la aplicación de un algoritmo de transformación cúbica de ocho términos y en algunos casos cuadrática de 10 términos, con interpolación por el método del vecino más cercano (*nearest neighbour*) (Fig. 7); la descorrelación de los niveles digitales de la imagen mediante análisis de Componentes Principales, la elaboración de imágenes en falso color a partir de las Componentes Principales minoritarias de las imágenes (Fig. 8) y la clasificación de las mismas por métodos supervisados (Fig. 9), para posteriormente escalarlas y cuantificar la extensión ocupada por cada uno de los diferentes tipos de colonización. La distinción de las colonizaciones blancas y grises fue posible utilizando imágenes de fluorescencia inducida por ultravioleta, aunque sólo pudo efectuarse una campaña de fotografía ultravioleta por lo que no contamos con datos comparativos. La cuantificación debió, pues, realizarse creando la categoría artificial “colonizaciones blancas/grises”.

La utilización de imágenes de fluorescencia inducida por ultravioleta permitió la distinción entre las colonizaciones blancas y las grises. Las imágenes en falso color generadas a partir de las bandas obtenidas por análisis de Componentes Principales (Fig. 10) permitían diferenciar los distintos biofilms debido a la desigual respuesta óptica de las colonizaciones blancas y las gri-

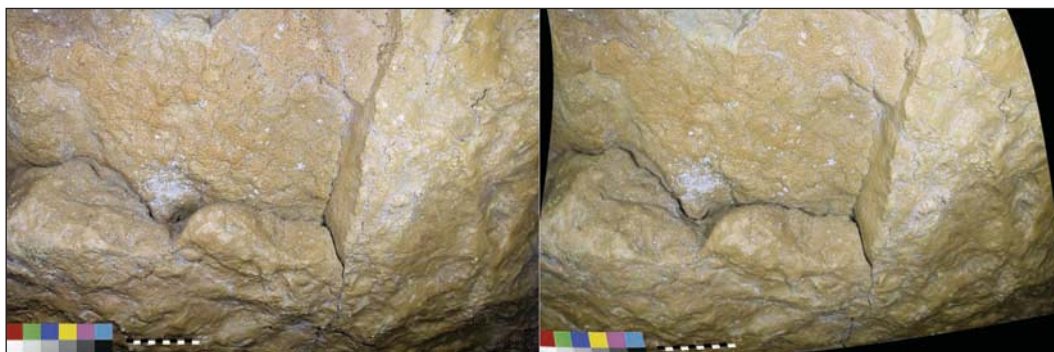


Figura 7. Correcciones geométricas en los fotogramas de uno de los puntos de control. Izquierda, imagen correspondiente a 2007. Derecha, imagen tomada en 2009

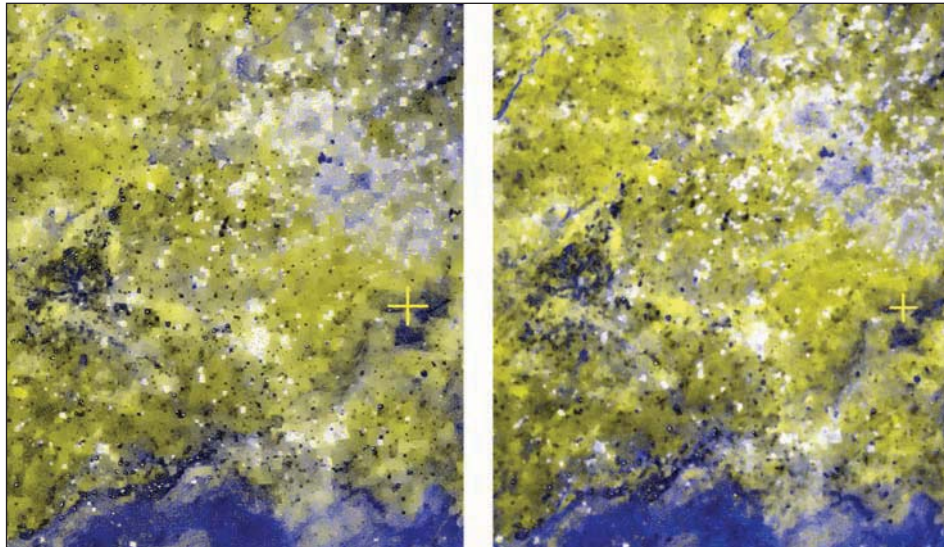


Figura 8. Extensión de las colonizaciones blancas/grises en el área seleccionada para uno de los puntos de control. Imágenes en falso color (CP2, CP2, CP3). Izquierda, 2007. Derecha, 2009. Los píxeles en negro señalan la colonización microbiana por este tipo de biofilms

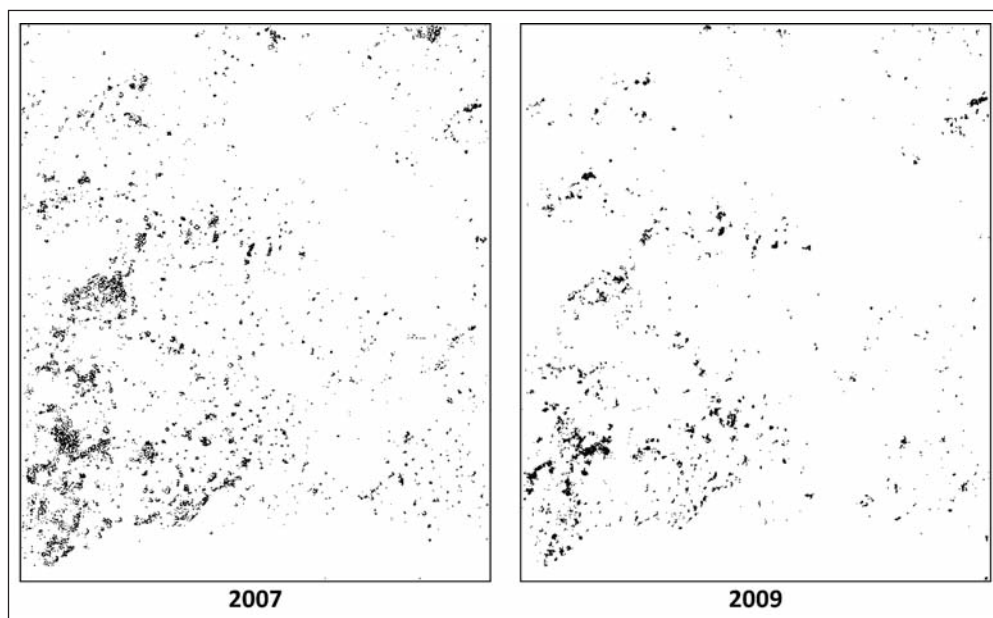


Figura 9. Imágenes clasificadas que muestran las áreas seleccionadas para su cuantificación para el mismo punto de control. A la izquierda, fotograma de 2007; a la derecha, fotograma de 2009

ses. Las blancas, sin embargo, presentaban valores de reflectividad con una cierta heterogeneidad, por lo que, para su cuantificación, se sumaron los valores de los píxeles de la primera Componente Principal con los de la segunda, siempre de las imágenes obtenidas mediante fluorescencia inducida (Fig.11). Las manchas blancas, muy reflectantes en general, aparecían bien destacadas en la primera Componente Principal de las imágenes de fluorescencia inducida, pero también aparecían bien destacadas en la segunda y estaban ausentes en la tercera. La suma de estas dos bandas permitió separar esta cubierta de otros valores discordantes y, tras su clasificación, el área cubierta por cada tipo de colonización pudo ser medida.

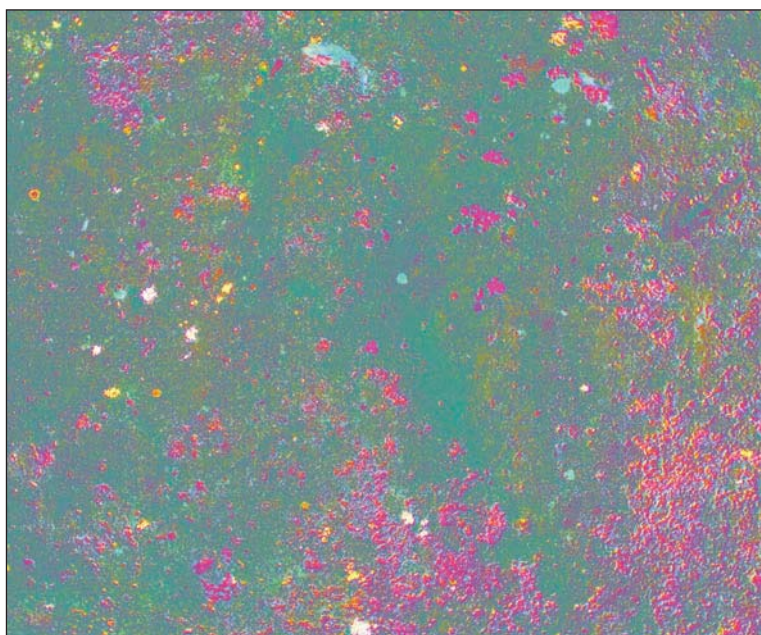


Figura 10. Imagen en falso color elaborada utilizando las tres bandas obtenidas por análisis de Componentes Principales de una imagen de fluorescencia inducida por ultravioleta. Las manchas grises se destacan en tonos magenta. Las manchas amarillas se destacan en tonos azul verdosos y las blancas en tonos amarillentos y en tonos blancos

Conclusiones

La utilización de técnicas de análisis de imagen nos ha permitido obtener tanto calcos digitales de un panel rupestre, que presentaba serios problemas de visualización en una de sus figuras y del que se contaba con calcos de los que se presumía una fiabilidad limitada; como obtener datos cuantitativos de un proceso con componente temporal y poder, así, evaluar y modelizar la dinámica futura de estas colonizaciones.

Todos estos datos se han conseguido con una importante economía de tiempo efectivo en la

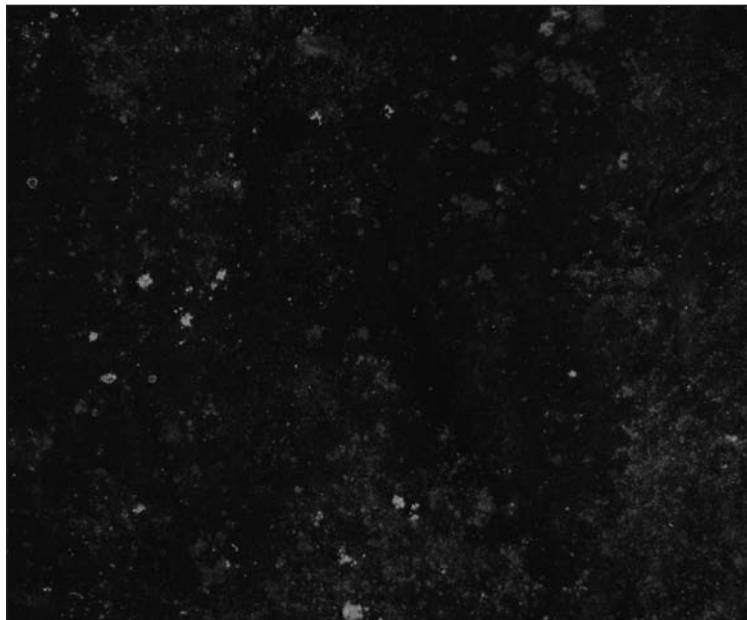


Figura 11. Imagen resultante de la suma de PC1UV y PC2UV. En tonos blancos: manchas blancas

cueva, algo que es crucial cuando se opera en ambientes tan frágiles como son los subterráneos. Si la toma de datos está lo suficientemente bien planificada, el grueso del tiempo dedicado a este trabajo puede realizarse en el laboratorio, con lo que se minimiza la posible afectación. Es importante recalcar que el uso de estas metodologías no supone ningún tipo de agresión a los bienes a documentar, ya que al corto tiempo necesario para la obtención de los datos se suma que no se necesita ningún tipo de contacto con los mismos.

Los datos obtenidos tienen una aplicación directa en la investigación arqueológica, así como son importantes para comprender el funcionamiento del sistema y poder diseñar estrategias efectivas de conservación.

Agradecimientos

El trabajo realizado en Altamira se enmarca en el “Programa de investigación en Tecnologías para la Valoración y Conservación del Patrimonio” (CONSOLIDER CSD2007-00058). Se agradecen a la dirección del Museo de Altamira las facilidades dadas para el estudio.

Referencias

Breuil, H. y Obermaier, H. 1935. *La Cueva de Altamira en Santillana del Mar*. Junta de Cuevas de Altamira / The Hispanic Society of America / Academia de la Historia, Madrid.

- Chuvieco Salinero, E. 2002. *Teledetección ambiental. La observación de la Tierra desde el Espacio*. Ariel, Barcelona.
- Cuezva, S., Sanchez-Moral, S., Saiz-Jimenez, C. y Cañaveras, J.C. 2009. Microbial communities and associated mineral fabrics in Altamira Cave, Spain. *International Journal of Speleology*, 38, 83-92.
- Foyo, A., Tomillo, C., Sánchez, M.A. y Suárez, J.L. 2002. Esquema geológico del entorno de la cueva de Altamira. En Lasheras, J.A. (ed.), *Redescubrir Altamira*. Turner, Madrid, 273-286.
- Hoyos, M., Soler, V., Cañaveras, J.C., Sanchez-Moral, S. y Sanz-Rubio, E. 1998. Microclimatic characterization of a karstic cave: human impact on microenvironmental parameters of a prehistoric rock art cave (Candamo Cave, northern Spain). *Environmental Geology*, 33, 231-242.
- Huppert, G., Burri, E., Forti, P. y Cigna, A. 1993. Effects of tourist development on caves and karst. En: Williams, P.W. (ed.), *Karst terrains, environmental changes, human impact*. CATENA Supplement 25, Cremlingen, 251-268.
- Moure, J.A. 1993. Investigación y conservación. En: Fortea, J. (ed.), *La protección y conservación del arte rupestre paleolítico. Mesa redonda hispano-francesa, Colombres (Asturias), 2 al 6 de junio de 1991*. Servicio de Publicaciones del Principado de Asturias, Oviedo, 175-180.
- Moure, J.A., González Sainz, C., Bernaldo de Quirós, F. y Cabrera, V. 1996. Dataciones absolutas de pigmentos en cuevas cantábricas: Altamira, El Castillo, Chimeneas y Las Monedas. En: Moure, J.A. (ed.), *El Hombre Fósil 80 años después. Volumen conmemorativo del 50 aniversario de la muerte de Hugo Obermaier*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cantabria, Santander, 295-324.
- Portillo, M.C., Rogerio-Candelera, M.A., Gonzalez, J.M. y Saiz-Jimenez, C. 2008. Estudios preliminares de la diversidad microbiana y análisis de imagen de las manifestaciones parietales en los abrigos de Fuente del Trucho y de Muriecho L (Colungo, Huesca). En: Rovira, S., Garcia-Heras, M., Gener, M. y Montero, I. (eds.), *Actas del VII Congreso Ibérico de Arqueometría*. Instituto de Historia (CSIC), Madrid, 97-107.
- Rogerio-Candelera, M.A., Vanhaecke, F., Resano, M., Marzo, P., Porca, E., Alloza Izquierdo, R. y Sáiz-Jiménez, C. 2009. Combinación de análisis de imagen y técnicas analíticas para la distinción de diferentes fases en un panel rupestre (La Coquinera II, Obón, Teruel). En: López Mira, J.A., Martínez Valle, R. y Matamoros de Villa, C. (eds.), *El Arte Rupestre del Arco Mediterráneo de la Península Ibérica. 10 años en la lista del Patrimonio Mundial de la Unesco. Actas del IV Congreso. Valencia, 3, 4 y 5 de diciembre de 2008*. Generalitat Valenciana, Valencia, 327-334.
- Rogerio-Candelera, M.A. y Élez Villar, J. 2010. Elaboración de un nuevo calco del cáprido de la Sala de La Hoya (cueva de Altamira) mediante técnicas de análisis de imagen. En: *Actas del VIII Congreso Ibérico de Arqueometría. Seminario de Arqueología y Etnología Turolense*, Teruel (en prensa).
- Sánchez-Moral, S., Soler, V., Cañaveras, J.C., Sanz Rubio, E., Van Grieken, R. y Gysells, K. 1999. Inorganic deterioration affecting Altamira Cave. Quantitative approach to wall-corrosion (solutional etching) processes induced by visitors. *The Science of the Total Environment*, 243, 67-84.
- Sánchez-Moral, S., Soler, V. y Cañaveras, J.C. 2000. Caracterización microambiental en sistemas kársticos someros (Cueva de Altamira, Cantabria). *Geotemas*, 1(3), 345-350.

- Sanchez-Moral, S., Soler, V., Bedoya, J. y Cañaveras, J.C. 2002a. Monitorización en continuo de parámetros microambientales en sistemas kársticos someros. Aplicación a la conservación del arte prehistórico (Cueva de Altamira, España). En: Sáiz Jiménez, C. y Videla, H.A. (eds.), *Biodeterioro de Monumentos de Iberoamérica*. CYTED, Sevilla, 109-123.
- Sánchez-Moral, S., Cañaveras, J.C., Soler, V., Saiz-Jimenez, C., Bedoya, J. y Lario, J. 2002b. La conservación del monumento. En: Lasheras, J.A. (ed.), *Redescubrir Altamira*. Turner. Madrid, 245-257.
- Sánchez-Moral, S., Cuezva, S., Fernández-Cortés, A. y Cañaveras, J.C. 2008. Geología-Geoquímica-Microclima aplicados a la conservación del Patrimonio. En: Saiz-Jimenez, C. y Rogerio-Candelera, M.A. (eds.), *La investigación sobre Patrimonio Cultural*. Red Temática del CSIC de Patrimonio Histórico y Cultural, Sevilla, 240-256.
- Sánchez-Moral, S., Cuezva, S., Fernández-Cortés, A., Janices, I., Benavente, D., Cañaveras, J.C., Élez, J., González, J.M., Jurado, V., Laiz, L., Portillo, M.C., Rogerio-Candelera, M.A. y Sáiz-Jiménez, C. 2009. *Estudio integral del estado de conservación de la Cueva de Altamira y sus representaciones artísticas paleolíticas. Perspectivas futuras de conservación*. Documento científico-técnico restringido.